

ОЧЕРТАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ЗОН УВЛАЖНЕНИЯ ПОДКАПЕЛЬНОГО ПОЧВЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

ВАСИЛЬЕВ Сергей Михайлович, ФГБНУ «РосНИИПМ»

ШКУРА Виктор Николаевич, ФГБНУ «РосНИИПМ»

ШТАНЬКО Андрей Сергеевич, ФГБНУ «РосНИИПМ»

Определяющим показателем качества капельного полива является формируемая в подкапельном почвенном пространстве область (зона) увлажнения почвы, форма и параметры которой должны соответствовать биологическим потребностям культивируемых растений. Задача определения граничного очертания контуров увлажнения и внутриконтурного распределения изоплет с определенным уровнем влажности почвы до настоящего времени остается неразрешенной в связи с многофакторным влиянием среды и условий капельного полива на процесс формирования геометрических параметров и влажностных характеристик увлажняемого подкапельного пространства. Системно накапливаемая база экспериментального материала по исследованию единичных контуров увлажнения почвы и внутриконтурного распределения изоплет влажности позволяет получить уравнение, описывающее очертание ограничивающих контур линий, а афинность расположения изоплет влажности почвы позволяет построить очертания «изоплетных» разновлажностных контуров, расположенных в пределах области увлажнения почвогрунтового пространства. Полученное экспериментальное уравнение, описывающее очертание зон увлажнения подкапельного почвенного пространства, позволяет не только прогнозировать и определять очертание капельных контуров влажности, их геометрические параметры и влажностные характеристики, но и управлять их формированием в соответствии с биологическими особенностями и потребностями возделываемых при капельном орошении сельскохозяйственных культур с соответствующим повышением их продуктивности.

Введение. Одной из актуальных задач повышения качества капельного полива, обеспечивающего формирование благоприятных для роста и развития корневых систем растений зон искусственного увлажнения почвы при максимальном ресурсосбережении, является задача по определению геометрических параметров и формы локальных контуров увлажнения, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве. Определенные рекомендации, предложения и разработки по измерениям, прогнозированию и расчету как геометрических, так и влажностных параметров единичных контуров капельного увлажнения почвы сделаны отечественными специалистами-гидромелиораторами, разрабатывавшими теорию и практику капельного орошения растений.

Известны разработки по аналитическим решениям формирования очертаний контуров увлажнения почв при капельном поливе, предложенные А.А. Алексахенко, Н.И. Вдовиным [1]; А.М. Зейлигером, Ю.И. Сухаревым [5]; А.Д. Ахмедовым, А.А. Темеревым, Е.Ю. Галиуллиной [2, 3]; Е.П. Боровым и Е.А. Ветренко [4]; Е.В. Шейн, Ф. Микайлсой [14]; Е.В. Мелиховой [6] и другими исследователями. Отметим, что разработанные ими

математические модели влагопереноса до настоящего времени не получили широкого практического применения по объективным и субъективным обстоятельствам.

В большей мере в реальной практике используются известные разработки и рекомендации по определению преимущественно геометрических параметров контуров капельного увлажнения почв, полученные и рекомендуемые к использованию для определенных почвенных, фитопочвенных и технологических условий полива. Предложенные рекомендации предусматривают определенную авторскую аппроксимацию форм единичных контуров увлажнения и использование эмпирических зависимостей, позволяющих определять глубину и диаметры контуров. Среди известных разработок указанного подхода выделим предложения М.Ю. Храброва [13]; М.И. Ромащенко и др. [18]; О.Е. Ясониди [17]; А.С. Овчинникова, В.С. Бочарникова, М.П. Мещерякова [7]; А.С. Овчинникова, И.И. Азарьевой [8]; Н.А. Пронько, В.В. Корсак, А.Н. Ломовцевой [11]; Р.В. Прокопец, Е.А. Сергеевой [10]; А.М. Олейником и М. К. Гаджиевым [9] и др. Данный подход отличает простота расчета, но его применение ограничивается условиями определения параметров контуров увлажнения почв.





Наиболее близко к достаточно точному решению задачи построения очертания, а следовательно, и к определению размеров единичного локального контура увлажнения почв для относительно широкого ряда условий капельного орошения подошли В.Н. Шкура, Д.Л. Обумахов, А.Н. Рыжаков и А.С. Штанько, в публикациях [12, 15, 16] которых приведены расчетные зависимости, позволяющие описать как внешние границы контуров, так и положение разновлажностных изоплет во внутриконтурном пространстве. Уравнение оконтуривающей граничной линии записано в форме полинома, позволяющего определить значения ее вертикальных (по глубине контура) и горизонтальных (по радиусу контура) координат и по ним построить как очертание контура, так и очертания внутриконтурных изоплетных линий с определенным уровнем влажности почвы. Приведенные в [12] и [15] зависимости отличаются по количественным значениям коэффициентов полинома и показателями степени его переменной величины, что связано с качеством и объемом экспериментального материала, используемого при математическом описании очертаний контуров.

Цель исследования – экспериментальное обоснование и получение зависимостей для математического описания оконтуривающей зоны увлажнения почвенного пространства при капельном поливе линии и очертаний разновлажностных изоплет в пределах единичных контуров увлажнения почвогрунтов.

Методика исследований. В качестве экспериментального материала для получения зависимостей по определению координат граничной контурной линии и описания очертаний внутриконтурных изоплет использованы авторские данные по исследованиям контуров капельного увлажнения почвы для приведенных в

табл. 1 данных по почвенным условиям их формирования.

Измерения геометрических и влажностных параметров контуров увлажнения производили по общепринятой методике с отбором почвенных проб, определением влажности почвы с построением матрицы влажности почвенного пространства, граничных и внутриконтурных изоплет влажности, которые и явились основой для дисперсионно-корреляционного анализа. Пример вертикального профиля одного из контуров увлажнения почвы (контур 4), сформировавшегося в подкапельном почвенном пространстве, представлен на рис. 1.

Методика определения координат характерных изоплет в локальных контурах увлажнения почвы предусматривает определение их радиусов $(r_j)_{\beta_i}$ на определенных уровнях заглубленности изоплетных линий влажности $(h_j)_{\beta_i}$.

Результаты исследований. Полученные экспериментальные очертания контуров с определенным расположением внутриконтурных изоплет с разной влажностью почвы обрабатывали в нижеследующей последовательности.

1. Каждый из «изоплетных» контуров по глубине разбивали на 10 равных слоев в соответствии с приведенной на рис. 2 схемой, и по каждому из горизонтальных сечений определяли соответствующие им значения радиусов оконтуривающих их линий. Учитывая наличие асимметричности в положении изоплет, определяли значения «левого», «правого» и «среднего» радиуса.

2. Устанавливали максимальное значение удаленностей оконтуривающих линий (изоплет) от «линии капания» (т.е. от вертикальной оси контура).

3. Данные измерений $(r_j)_{\beta_i}$ и $(h_j)_{\beta_i}$ заносили в таблицу, по которым определяли значения соотношений $(r_j)_{\beta_i} / (r_{\text{кон}})_{\beta_i}$ и $(h_j)_{\beta_i} / (h_{\text{кон}})_{\beta_i}$, соответствующие относительным

Таблица 1

Данные по почвенным условиям капельных поливов

Показатель	Значение почвенного показателя по контурам				
	1	2	3	4	5
Содержание глинистых частиц $\bar{W}_{г/ч}$, % МСП	16,4	29,8	44,8	56,0	71,3
Наименьшая влагоемкость $\bar{W}_{нв}$, % МСП	15,9	21,9	25,8	26,4	31,1
Плотность сложения $\bar{\gamma}_{об}$, т/м ³	1,30	1,29	1,26	1,28	1,32
% МСП (% от массы сухой почвы)					

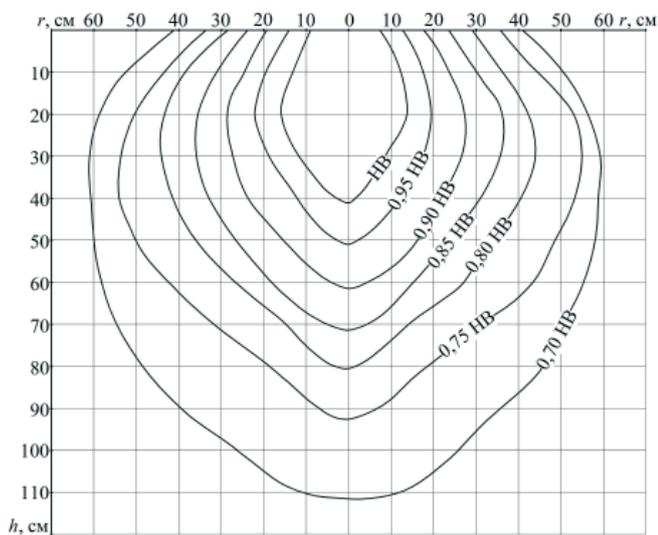


Рис. 1. Контур капельного увлажнения среднесуглинистой черноземной почвы

при $\bar{W}_{г/ч} = 56,0\%$ МСП, $\bar{W}_{НВ} = 26,4\%$ МСП,
 $\gamma_{об} = 1,28\text{ т/м}^3$ (подписи на изоплотах – их влажность в долях от наименьшей влагоемкости (НВ))

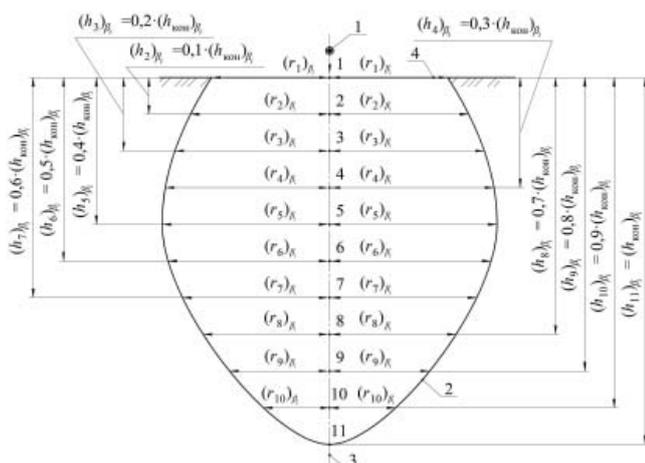


Рис. 2. Расчетная схема очертания контура увлажнения почвы: 1 – капельница; 2 – оконтуривающая линия; 3 – ось капания; 4 – поверхность земли; $(h_1)_{\beta_i} - (h_{11})_{\beta_i}$ – расстояния от поверхности земли до характерных сечений, разделяющих контур с влажностью ограничивающей изоплеты β_i по вертикали на 10 равных расчетных слоев;

$(r_1)_{\beta_i} - (r_{10})_{\beta_i}$ – радиусы контура, соответствующие характерным сечениям «изоплетного» контура; 1-11 – точки на оси капания, соответствующие характерным сечениям контура увлажнения почвы

тельным вертикальным и горизонтальным координатам изоплет с определенным уровнем влажности почвенного пространства (где $(r_j)_{\beta_i}$ – радиус «изоплетного» контура увлажнения, м, с влажностью ограничивающей его изоплеты β_i , в долях от $\beta_{НВ}$, соответствующий сечению контура с глубиной $(h_j)_{\beta_i}$; $(r_{кон})_{\beta_i}$ и

$(h_{кон})_{\beta_i}$ – соответствующие определенной оконтуривающей изоплете максимальные радиус и глубина рассматриваемого «изоплетного» контура, м). Пример обработки данных по контуру 4 приведен в табл. 2.

Судя по приведенным в табл. 2 данным и результатам обработки других контуров, подобие их форм (очертаний) сохраняется в однотипных почвах и при разных поливных нормах в случае выдачи их капельницами одинаковой производительности, но при разной продолжительности капельного полива. Указанные обстоятельства позволяют в качестве определяющих очертание единичных контуров капельного увлажнения и положений изоплет влажности во внутриконтурном пространстве рассматривать такие осредненные по глубине увлажняемого слоя характеристики почвы, как содержание в ней физической глины ($\bar{W}_{г/ч}$, % МСП), наименьшая влагоемкость ($\bar{W}_{НВ}$, % МСП) и плотность ее сложения ($\gamma_{об}$, т/м³), и с учетом их устанавливая экспериментальные зависимости, описывающие очертания «изоплетных» контуров увлажнения почвы.

Полученные данные по каждой внутриконтурной изоплете и контуру аппроксимировали зависимостью, описывающей функциональную связь вида

$$(r_j)_{\beta_i} / (r_{кон})_{\beta_i} = f((h_j)_{\beta_i} / (h_{кон})_{\beta_i}). \quad (1)$$

Приведенные в табл. 2 данные по каждой изоплетной линии осредняли по всем исследованным контурам. Полученные средние значения относительных координат граничных линий (изоплет) контуров в координатной сетке $(r_j)_{\beta_i} / (r_{кон})_{\beta_i}$ и $(h_j)_{\beta_i} / (h_{кон})_{\beta_i}$ по контуру 4 представлены на рис. 3.

В результате математической обработки получена зависимость в виде полинома 10-й степени, адекватно описывающая опытные данные, имеющая следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{r_{h_j}}{(r_{из/п})_{\beta_i}} = & k_0 + k_1 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right] - k_2 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^2 + \\ & + k_3 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^3 - k_4 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^4 - k_5 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^5 - \\ & - k_6 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^6 - k_7 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^7 - k_8 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^8 - \\ & - k_9 \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^9 - k_{10} \left[\frac{(h_j)_{\beta_i}}{(h_{из/п})_{\beta_i}} \right]^{10}, \end{aligned} \quad (2)$$



Результаты обработки данных измерений и определения относительных координат линий влажности

Параметр	Значение параметра при различных значениях $(h_j)_{\beta_i} / (h_{\text{кон}})_{\beta_i}$										
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$(r_j)_{0,70\text{HB}} / (r_{\text{кон}})_{0,70\text{HB}}$	0,69	0,89	0,97	1,00	0,99	0,96	0,90	0,80	0,64	0,43	0,00
$(r_j)_{0,75\text{HB}} / (r_{\text{кон}})_{0,75\text{HB}}$	0,64	0,80	0,94	1,00	1,00	0,95	0,85	0,70	0,48	0,28	0,00
$(r_j)_{0,80\text{HB}} / (r_{\text{кон}})_{0,80\text{HB}}$	0,66	0,82	0,94	0,97	1,00	0,94	0,82	0,69	0,50	0,27	0,00
$(r_j)_{0,85\text{HB}} / (r_{\text{кон}})_{0,85\text{HB}}$	0,65	0,80	0,92	1,00	1,00	0,94	0,84	0,70	0,54	0,35	0,00
$(r_j)_{0,90\text{HB}} / (r_{\text{кон}})_{0,90\text{HB}}$	0,66	0,80	0,90	0,99	1,00	0,96	0,88	0,75	0,60	0,40	0,00
$(r_j)_{0,95\text{HB}} / (r_{\text{кон}})_{0,95\text{HB}}$	0,64	0,79	0,95	0,98	1,00	0,95	0,86	0,73	0,56	0,37	0,00
$(r_j)_{\text{HB}} / (r_{\text{кон}})_{\text{HB}}$	0,56	0,71	0,83	0,91	0,99	1,00	0,90	0,73	0,57	0,37	0,00
Среднее значение	0,64	0,80	0,92	0,98	1,00	0,96	0,86	0,73	0,56	0,35	0,00

где k_0 – свободный член уравнения (соответствующий значению $(h_j)_{\beta_i} = 0,00$ и соотношению $(r_{\text{пов}})_{\beta_i} / (r_{\text{кон}})_{\beta_i}$, где $(r_{\text{пов}})_{\beta_i}$ – радиус зоны увлажнения на поверхности почвы по рис. 2), определяемый по нижеприведенной зависимости:

$$k_0 = 0,5 \left\{ \begin{aligned} &(1 - 0,005 \bar{W}_{\text{г/ч}} \bar{Y}_{06}) + \\ &+ (1 - 0,001 \bar{W}_{\text{HB}}^{1,84} - 0,002 \bar{W}_{\text{HB}}^{0,45}) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

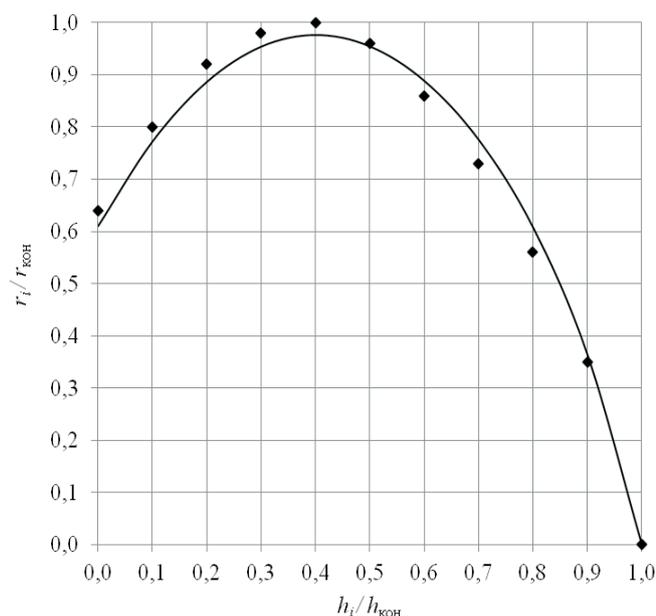


Рис. 3. График функциональной связи

$$(r_j)_{\beta_i} / (r_{\text{кон}})_{\beta_i} = f((h_j)_{\beta_i} / (h_{\text{кон}})_{\beta_i})$$

k_1 – коэффициент при переменном члене полинома $((h_j)_{\beta_i} / (h_{\text{кон}})_{\beta_i})$:

$$k_1 = 1,03 / k_0^{1,2}, \quad (4)$$

k_2 – коэффициент при переменном члене полинома $((h_j)_{\beta_i} / (h_{\text{кон}})_{\beta_i})^2$:

$$k_2 = k_0 + k_1; \quad (5)$$

$k_3 - k_{10}$ – коэффициенты при переменных членах полинома $((h_j)_{\beta_i} / (h_{\text{кон}})_{\beta_i})$ от 3-й до 10-й степени соответственно, определяемые по соотношению вида

$$k_i = (k_{\text{рег}})_i k_0^{0,01}, \quad (6)$$

где i – порядковый номер коэффициента при членах полинома (от 3 до 10); $(k_{\text{рег}})_i$ – коэффициент регрессии, численные значения которого для соответствующих значений коэффициентов $k_3 - k_{10}$ принимаются по табл. 3.

Уравнение (2) позволяет установить значения относительных горизонтальных координат $(r_j)_{\beta_i} / (r_{\text{кон}})_{\beta_i}$ ограничивающей локальный контур капельного увлажнения для определенных относительных значений

вертикальных координат $(h_j)_{\beta_i} / (h_{\text{кон}})_{\beta_i}$ с приемлемой для практических расчетов точностью.

Предлагаемая расчетная зависимость ап-



робирована на локальном контуре увлажнения почвы, зафиксированном В.С. Бочарниковым [7], в почве с характеристиками $\bar{W}_{г/ч} = (48,4 \pm 3,1) \% \text{ МСП}$, $\bar{W}_{НВ} = (25,3 \pm 1,2) \% \text{ МСП}$, $\bar{\gamma}_{об} = 1,36 \text{ т/м}^3$, относительные координаты ограничивающей линии которого (в нашей обработке и обозначениях) приведены в табл. 4.

Согласно данным табл. 4, зависимость (2) с высокой степенью точности описывает ограничивающую локальный контур увлажнения почвы изоплету.

Абсолютные значения координат ограничивающих контуры линий $(h_j)_{\beta_i}$ и $(r_j)_{\beta_i}$ устанавливаются по значениям $(h_{кон})_{\beta_i}$ и $(r_{кон})_{\beta_i}$ из соответствующих соотношений $(h_j)_{\beta_i} / (h_{кон})_{\beta_i}$ и $(r_j)_{\beta_i} / (r_{кон})_{\beta_i}$. При определении расчетных абсолютных значений координат ограничивающей контур линии и внутриконтурных изоплет $(h_{кон})_{\beta_i}$ и $(r_{кон})_{\beta_i}$ рекомендуется использовать экспериментальные зависимости и нижеприведенную последовательность расчетных операций.

1. Для определенных почвенных условий и определенных уровней допозливной $\beta_{д/п}$ и постполивной $\beta_{п/п}$ влажности почвы (% МСП) устанавливается глубина промачивания (контур капельного увлажнения) почвы $(h_{кон})_{\beta_{д/п}}$, м, при капельном поливе поливной нормой $N_{пол}$, м³/кап., по зависимости вида

$$(h_{кон})_{\beta_{д/п}} = \left(\frac{N_{пол}}{0,00196 \bar{\gamma}_{об} (0,0765 \bar{W}_{г/ч})^{0,6} + 0,0292 \bar{W}_{НВ}^2 \cdot (\beta_{п/п} - \beta_{д/п})} \right)^{0,333}. \quad (7)$$

Следует отметить, что при проведении

практических расчетов величина $(h_{кон})_{\beta_{д/п}}$ или $(h_{из/п})_{\beta_{д/п}}$ должна соответствовать заданной глубине увлажняемого слоя $h_{увл}$. В случае $(h_{кон})_{\beta_{д/п}} \neq h_{увл}$ уточняется величина поливной нормы, добиваясь необходимого равенства расчетной и заданной глубин промачивания слоя почвы.

2. По установленной величине заглубленности зоны увлажнения почвы $(h_{кон})_{\beta_{д/п}}$ определяют заглубленность изоплеты $(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}}$, м, с влажностью почвы $\beta_{из/п} = 0,7\beta_{НВ}$ с использованием нижеследующей зависимости:

$$(h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}} = \frac{(h_{кон})_{\beta_{д/п}}}{0,5 \left[1,0 - 1,1^{0,1 \cdot W_{г/ч}} \left(\frac{\beta_{д/п}}{\beta_{0,7НВ}} - 1,0 \right) + 1,0 - 1,2^{0,1 \cdot W_{НВ}} \left(\frac{\beta_{д/п}}{\beta_{0,7НВ}} - 1,0 \right) \right]}. \quad (8)$$

3. Устанавливают значения заглубленности изоплет $(h_{из/п})_{\beta_i}$, м, с различным уровнем влажности почвы от $\beta_i = 0,6\beta_{НВ}$ до $\beta_i = 1,0\beta_{НВ}$ по соотношению

$$(h_{из/п})_{\beta_i} = 0,5 (h_{из/п})_{0,7\beta_{НВ}} \left[1,0 - 1,1^{0,1 \cdot W_{г/ч}} \left(\frac{\beta_i}{\beta_{0,7\beta_{НВ}}} - 1,0 \right) + 1,0 - 1,2^{0,1 \cdot W_{НВ}} \left(\frac{\beta_i}{\beta_{0,7\beta_{НВ}}} - 1,0 \right) \right]. \quad (9)$$

Соответствующие глубинам контуров увлажнения $(h_{из/п})_{\beta_i}$ значения их максимальных радиусов $(r_{из/п})_{\beta_i}$, м, находят из соотношения

$$(r_{из/п})_{\beta_i} = 0,25 (h_{из/п})_{\beta_i} \left[\frac{(0,51 + 0,009 W_{г/ч}) + (0,073 + 0,038 W_{НВ})}{1} \right]. \quad (10)$$

Использование вышеприведенных зависимостей (2)–(10) и предложенной методики расчета, доведенной авторами до уровня

Таблица 3

Значения коэффициентов регрессии полинома (2)

Показатель	Значение							
	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}
Коэффициенты полинома k_i								
Коэффициенты регрессии $(k_{рег})_i$	0,255	0,005	0,010	0,017	0,027	0,040	0,065	0,090



Относительные расчетные и опытные параметры контура увлажнения по первичным данным В.С. Бочарникова

Параметр	Значение										
	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Относительная глубина контура $h_i / h_{\text{кон}}$	0,00	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
Относительный радиус контура по опыту $(r_i / r_{\text{кон}})_{\text{опыт}}$	0,64	0,80	0,92	0,98	1,00	0,96	0,86	0,73	0,56	0,35	0,00
Относительный радиус контура по расчету $(r_i / r_{\text{кон}})_{\text{расч}}$	0,61	0,77	0,89	0,95	0,98	0,95	0,89	0,78	0,61	0,36	0,00
Отклонение δ , %	-4,69	-3,75	-3,26	-3,06	-2,00	-1,04	3,49	6,85	8,93	0,03	0,00

программы для ЭВМ, позволяет определить координаты ограничивающих контуры капельного увлажнения почвы разновлажностных изоплет и построить их графические образы, пример которых для почвенных условий проведения капельного полива, соответствующих контуру 4 (см. табл. 1), представлен на рис. 4.

Сопоставление очертаний прогнозного (по рис. 4) и фактического (по рис. 1) контуров капельного увлажнения почвы показывает приемлемую для практики точность их соответствия, что свидетельствует о приемлемости полученных и используемых при расчетах экспериментальных зависимостей и разработанной методики определения координат и построения контуров капельного увлажнения почвы и внутриконтурных разновлажностных изоплет.

Заключение. Предложена эксперимен-

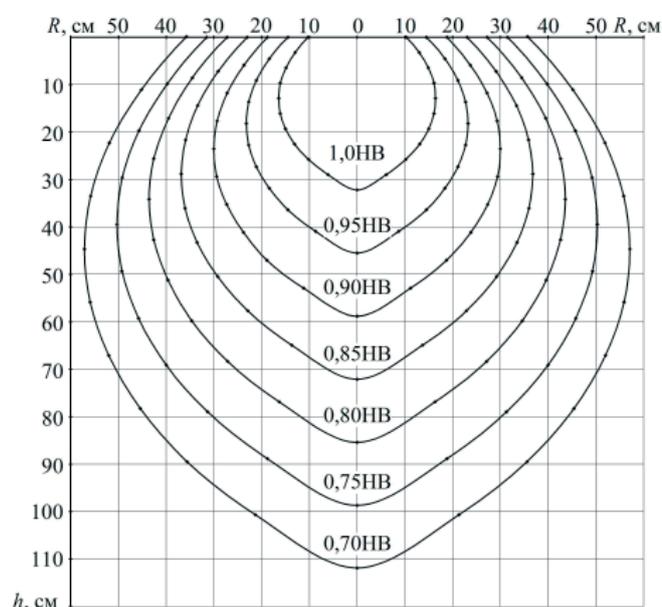


Рис. 4. Схема контура капельного увлажнения и внутриконтурного распределения влажности

тальная зависимость, описывающая очертание контура капельного увлажнения почвы и внутриконтурных изоплет влажности, формирующихся в подкапельном почвенном пространстве при капельном поливе. Предложенная зависимость позволяет с приемлемой для практического применения точностью ($\delta = \pm 12\%$) получить очертание граничной линии локального контура увлажнения почвы для широкого ряда почвенных условий проведения капельных поливов при условии отличий в значениях характеристик по глубине почвенного профиля, не превышающих 10–12 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексашенко А.А., Вдовин Н.И. Теоретические вопросы капельного // Вестник с.-х. науки. – 1977. – № 8. – С. 10–14.
2. Ахмедов А.Д., Галиуллина Е.Ю. Контурные увлажнения почвы при капельном орошении // Известия Нижневолж. агроунив. комплекса: наука и высш. проф. образование. – 2012. – № 3. – С. 183–188.
3. Ахмедов А.Д., Темерев А.Н., Галиуллина Е.Ю. Расчет основных параметров влагопереноса при капельном орошении // Социально-экологические проблемы сельского и водного хозяйства. Ч. 1 «Комплексное обустройство ландшафта»: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2010. – С. 11–22.
4. Боровой Е.П., Ветренко Е.А. Аналитический подход к определению параметров контуров увлажнения почвы на основе решения уравнения влагопереноса // Известия Нижневолж. агроунив. комплекса. – 2009. – № 4(16). – С. 52–57.
5. Зейлигер А.М., Сухарев Ю.И. Двумерная математическая модель влагопереноса в мелиорируемых почвах // Теория и практика комплексного мелиоративного регулирования: сб. науч. трудов МГМИ. – М.: Наука, 1983. – С. 83–91.



6. Мелихова Е.В. Моделирование и обоснование ресурсосберегающих параметров капельного орошения при возделывании корнеплодов. – Волгоград, 2017. – 112 с.

7. Овчинников А.С., Бочарников В.С., Мещеряков М.П. Методика расчета и обоснование параметров контура увлажнения в условиях открытого и закрытого грунта // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 10–14.

8. Овчинников А.С., Азарьева И.И. Особенности распространения влаги в контуре увлажнения при капельном орошении // Плодородие. – 2010. – № 1. – С. 29–30.

9. Олейник А.М., Гаджиев М.К. Характер формирования контуров увлажнения почвы при капельном орошении // Режимы орошения и водопотребление сельскохозяйственных культур на Северном Кавказе: сб. науч. трудов ЮЖНИИ-ГиМ. – Новочеркасск, 1984. – С. 129–133.

10. Прокопец Р.В., Сергеева Е.А. Изменение параметров контура увлажнения при капельном орошении в зависимости от интенсивности водоподдачи // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 4. – С. 62–66.

11. Пронько Н.А., Корсак В.В., Ломовцева А.Н. Контур увлажнения при капельном орошении на почвах Заволжья // Научная жизнь. – 2015. – № 1. – С. 74–81.

12. Рыжаков А.Н., Шкура В.Н., Штанько А.С. О форме локального контура капельного орошения // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2017. – № 2(66). – С. 94–100.

13. Храбров М.Ю. Расчет распространения влаги в почве при капельном орошении // Мелиорация и водное хозяйство. – 1999. – № 4. – С. 34–35.

14. Шейн Е.В., Микайлсой Ф. Теоретические и методические особенности решения задачи теплопереноса при инфильтрации в почве // Вестник ОГУ. – 2011. – № 12. – С. 451–452.

15. Шкура В.Н., Обумахов Д.Л., Рыжаков А.Н. Капельное орошение яблони / под ред. В. Н. Шкуры. – Новочеркасск: Лик, 2014. – 310 с.

16. Штанько А.С., Шкура В.Н. Способ графоаналитического построения очертания контуров капельного увлажнения почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – 2018. – № 1(29). – С. 67–85. – Режим доступа: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=526&id=531>.

17. Ясониди О.Е. Капельное орошение. – Новочеркасск: Лик, 2011. – 322 с.

18. Системы краплинного зрошення: навчальний посібник / М.Л. Ромащенко [и др.]; за ред. акад. УААН М. Л. Ромащенко. – Дніропетровськ: Оксамит-текст, 2007. – 175 с.

Васильев Сергей Михайлович, д-р техн. наук, доцент, ФГБНУ «РосНИИПМ». Россия.

Шкура Виктор Николаевич, канд. техн. наук, проф., ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ». Россия.

Штанько Андрей Сергеевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «РосНИИПМ». Россия.

346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, пр. Баклановский, 190.

Тел.: (8635) 26-51-00.

Ключевые слова: капельное орошение; капельный полив; контур увлажнения; зона увлажнения; изоплеты влажности; очертание контура влажности.

LOCAL MOISTURE ZONES PROFILE OF SUBDRIP SOIL SPACE

Vasil'ev Sergey Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Federal State Scientific Institution RosNIIPM. Russia.

Shkura Viktor Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, Federal State Scientific Institution RosNIIPM. Russia.

Shtan'ko Andrey Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Federal State Scientific Institution RosNIIPM Russia.

Keywords: drip irrigation; drip watering; moisture contour; wetting zone; humidity isopleths; moisture contour configuration (profile).

The defining indicator of drip irrigation quality is soil moistening area (zone) formed in the sub-drip soil space; its shape and parameters should correspond to the biological needs of cultivated plants. The task of determining the boundary moisture contours profile and the inner contour distribution of isopleths with a certain level of soil moisture still remains unresolved

due to the multifactorial influence of the environment and drip irrigation conditions on the formation of geometric parameters and humidity characteristics of the moistened subdrip space. The systematically accumulated base of experimental material for the study of single soil moisture contours and inner contour distribution of moisture isopleths allows to obtain an equation describing the bounding lines outline, and the affinity of the location of soil moisture isopleths allowing to construct the profile of "isopleth" dissimilar moisture contours located within the area of soil space moistening. The obtained experimental equation describing the outline of wetting zones of subdrip soil space allows not only to predict and determine the profile of drip moisture contours, their geometric parameters and moisture characteristics, but also to control their formation in accordance with the biological features and needs of agricultural crops cultivated under drip irrigation with corresponding increase of their productivity.

